Aus dem Physiologischen Institut der Universität München.
(Direktor: Professor Dr. Hahn.)

Die Abhängigkeit des Stoffwechsels von der Körperoberfläche.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde

verfaßt und einer

Hohen medizinischen Fakultät

der

Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Karl Fackler
Zahnarzt
Wemding

1934

Buchdruckerei Karl Mayer, Günzburg

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München.

Referent: Prof. Dr. Hahn.

Meinen Eltern in Liebe und Dankbarkeit!

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40153312_0335

Die Ernährungslehre zeigt, daß keine Funktion des lebenden Organismus ohne die Aufnahme und Umwandlung von Stoffen vor sich geht und daß stets Produkte dieser Umwandlung den Körper verlassen. Man bezeichnet diesen Vorgang als Stoffwechsel.

Durch eingehende Studien lernte die Wissenschaft die mannigfaltigsten Einwirkungen auf die Größe des Stoffumsatzes im Tierkörper erkennen. Eine von diesen wurde in ihrer Wirksamkeit vielfach verkannt und deshalb lange Zeit nicht genügend beachtet. Es ist dies die Größe des Tieres. Durch die Versuche von Chossat (Chossat, Mém. prés. par div. savants à l'acad. royal des sciences, de l'institut de France t. 8 p. 438) an hungernden Tieren war bekannt, daß im allgemeinen kleine Tiere rascher sterben als große, eine Tatsache, die auch die Versuche von Regnault und Reiset (Regnault und Reiset, Ann. de chem. et phys. t. 26 p. 299 ff,) über den Sauerstoffverbrauch der Tiere zeitigten. Ebenfalls in gleicher Richtung laufen die Beobachtungen, die Voit (Hermanns Handb. Bd. 6. S. 88) über die Nahrungszufuhr großer und kleiner Tiere anstellte. Wie nun die Größe des Tieres auf den Sauerstoffverbrauch überhaupt, so soll sie auch auf die Qualität der Zersetzung wirken, wie Voit durch Zusammenstellungen über den Eiweiß- und Fettverbrauch, den kleine Tiere im Hungerzustand in größerem Maße aufweisen als große, gezeigt hat.

Steht es nun auch nach all diesen Angaben fest, daß die Körpergröße einen bestimmenden Einfluß auf die Größe des Stoffwechsels übt, so kann man nicht im entferntesten ein quantitatives Urteil über diese Wirkung fällen. Dies ist aber von großer Bedeutung, da man über die Verschiedenheit des Stoffwechsels bei verschiedenen Tierarten sowie über den Einfluß, den das Alter eines Tieres auf den Stoffwechsel ausübt, ohne vorherige Kenntnis des Einflusses der Körpergröße zu keinem Schluß kommen kann. Rubner (Zeitschr. f. Biol., Bd. 19, S. 536 ff.) stellte nun in dieser Richtung Versuche an, nachdem er folgende Tabelle über den Sauerstoffverbrauch von Tieren nach den Angaben von Regnault und Reiset zusammengestellt hatte:

Tierart	Gew. in kg	Pro kg u. Std. O in g
Männl. Kalb	115	0,481
„ „	115	0,428
Schaf	70	0,464
„	66	0,490
Hammel	65	0,400
Puter	6,2	0,702
Hund	5,59	0,902
Gans	4,6	0,677
Kaninchen	3,58	0,763
„	3,43	0,735
Murmeltier	1,55	1,198
Huhn	1,51	0,846
Enterich	1,22	1,382
Kreuzschnabel	0,028	10,974
Grünfink	0,025	13,000
„	0,025	9,742
Sperling	0,022	9,595

Aus der Tabelle ist ohne weiteres zu ersehen, daß mit sinkendem Körpergewicht eine Aenderung in der Größe der Oxydation eintritt, wenn diese Erscheinung auch keine regelmäßige ist wahrscheinlich deshalb, weil in den genannten Versuchen außer der Körpergröße auch noch andere Faktoren die Oxydation beeinflußten. Es handelte sich nämlich dabei um unter vollkommen verschiedenen Ernährungsverhältnissen stehende Tiere, von denen ebenso nicht bekannt ist, ob sie sich ruhig verhielten, ob unter ihnen nicht auch junge, nicht ausgewachsene Tiere waren. All diese Unregelmäßigkeiten vermögen jedoch nicht die eine Schlußfolgerung umzustoßen, nach der kleine Tiere im allgemeinen relativ mehr Sauerstoff brauchen als große.

Selbstverständlich war es für Rubner Grundbedingung alle Umstände zu beachten, die eine exakte Lösung der Frage in Aussicht stellten. So war es klar, daß die Frage nur für eine bestimmte Tierart zu lösen war, daß nur ausgewachsene Tiere zur Verwendung kamen und daß endlich die auf die Tiere selbst einwirkenden Bedingungen möglichst gleichartig zu halten waren.

Als Versuchstier erschien Rubner am zweckmäßigsten der Hund, da hier die Möglichkeit bestand, bedeutende Größendifferenzen in ihrer Wirkung zu studieren und außerdem dieses

Tier ein recht brauchbares Objekt für derlei Unternehmungen darstellt. Alle Hunde, deren Gesamtstoffwechsel Rubner durch Summierung des kalorischen Wertes bestimmte, befanden sich im Zustand der Inanition. An den Versuchstieren wurden stets mehrere Bestimmungen ausgeführt. Bei Vergleichung der Einzelwerte des Gesamtstoffwechsels finden sich nur geringe Differenzen, bedingt durch die Verschiedenheit der bei Ausführung der einzelnen Versuche im Zimmer herrschenden Temperatur. Die Versuchstiere befanden sich im Respirationsraum in ungefähr derselben bewegten Luft wie jene Katze, an der Herzog Carl Theodor seine Versuche über den Einfluß der umgebenden Temperatur auf den Stoffwechsel (Ztschr. f. Biol., Bd. 14. S. 51 ff.) angestellt hatte. Als Korrektur für die Verschiedenheit der Temperatur bei seinen Versuchen führte Rubner alle Werte des täglichen Stoffwechsels auf die Temperatur von 15° C zurück, wonach er folgende Ergebnisse zu verzeichnen hatte:

(Siehe Tabellen Seite 4 u. s. w.)

Nr. d. Hundes	Hungertag	N tgl. ausgeschieden	Fett tgl. zersetzt	Cal. aus Eiweiss	Cal. aus Fett	Summe d. Cal.	Cal. aus Eiweis in %	Körpergew. in kg	Pro Tg. u. kg N ausgeschieden	Pro Tg. u. kg Fett zersetzt	Temperatur in ° C
1	6.	5,95	108,9	152,30	10.55,24	1207,54	12,6	30,96	0,19	3,51	17,1
„	10.	5,23	84,2	134,10	816,38	950,48	14,1	29,87	0,17	2,85	17,7
„	5.	5,70	106,7	141,14	1034,2	1175,35	12,0	31,44	0,18	3,39	16,2
„	8.	4,70	102,1	120,51	989,2	1109,75	10,8	30,38	0,15	3,36	13,9
2	19.6.83. 1	5.46	88,5	139,78	858.4	998,2	14,0	24,11	0,22	3,66	15,0
„	21.6.83. 2.	9,42	73,6	241,53	713,92	955,45	25,3	23,75	0,39	3,09	15,0
„	23.6.83. 3.	3,88	88,4	99,04	857,5	956,52	10,3	23,27	0,16	3,79	15,0
3	24.2.82. 4.	3,52	88,67	90,25	859,26	949,46	9,5	19,80	0,18	4,42	16,9
„	28.2.82. 8.	2,70	82,55	69,23	799,90	869,02	7,9	19,01	0,14	4,34	14,5
„	1.3.82. 9.	3,54	74,64	80,76	723,26	804,02	10,0	18,79	0,18	3,97	16,0
4.	12.1.80. 1.	6,53	78,00	167,42	755,82	923,24	18,1	18,20	0,35	4,30	13,9
„	14.1.80. 3.	4,50	61,84	115,38	599,23	714,61	18,4	17,20	0,26	3,59	16,6

Nr. d. Hundes	Hungertag	N tgl. ausgeschieden	Fett tgl. zersetzt	Cal. aus Eiweiss	Cal. aus Fett	Summe d. Cal.	Cal. aus Eiweis in %	Körpergew. in kg	Pro Tg. u. kg N ausgeschieden	Pro Tg. u. kg Fett zersetzt	Temperatur in ° C
5.	21.12.81. 1.	4,38	50,39	112,30	488,28	600,58	18,7	9,05	0,47	5,56	19,2
„	22.12.81. 2.	3,04	46,94	77,90	454,66	532,60	14,6	8,83	0,34	5,32	20,9
„	23.12.81. 3.	3,21	49,61	82,30	435,18	563,50	14,6	8,68	0,36	5,71	20,2
„	24.12.81. 4.	3,21	44,91	82,30	454,94	517,38	15,8	8,53	0,36	5,26	21,0
„	2. 5.82. 2.	1,64	65,79	42,05	637,50	679,55	6,1	11,11	0,14	5,92	18,4
„	3. 5.82. 3.	1,69	60,47	43,33	585,35	629,23	6,8	10,87	0,15	5,56	20,0
6	5.12.81. 1.	2,76	39,62	60,77	383,92	444,69	13,8	6,84	0,40	5,79	15,8
„	6.12.81. 2.	2,22	35,65	56,91	345,45	402,36	13,9	6,36	0,34	5,60	23,6
„	9.12.81. 5.	1,96	31,64	50,25	306,59	356,84	14,0	6,14	0,31	5,15	20,7
„	1. 2.82. 1.	2,89	42,50	74,60	411,82	486,42	15,3	6,83	0,42	6,22	18,2
„	2. 2.82. 2.	2,17	47,33	55,64	458,62	514,26	10,8	6,69	0,32	7,07	18,0
„	3. 2.82. 3.	1,86	43,00	50,96	418,79	469,75	11,0	6,56	0,28	6,55	15,0

Nr. d. Hundes	Hungertag	N tgl. ausgeschieden	Fett tgl. zersetzt	Cal. aus Eiweiss	Cal. aus Fett	Summe d. Cal.	Cal. aus Eiweis in %	Körpergew. in kg	Pro Tg. u. kg N ausgeschieden	Pro Tg. u. kg Fett zersetzt	Temperatur in ° C
6	4. 2.82.										
	4.	1,94	38,97	53,84	379,40	480,24	11,2	6,40	0,20	6,09	16,5
„	27.1.83 .										
	2.	2,49	34,79	63,74	337,11	409,85	15,9	6,66	0,36	5,22	14,6
„	28.1.83.										
	3.	2,56	30,09	65,64	291,57	357,21	18,3	6,50	0,39	4,63	16,4
„	29.1.83.										
	4.	2,08	29,50	55,20	285,95	341,15	16,1	6,36	0,33	4,65	16,3
„	2.2.83.										
	8.	1,44	29,91	36,92	289,82	326,74	11.3	6,21	0,23	4,81	15,9
„	10.2.83.										
	1.	3,75	28,87	96,15	279,70	365,85	25,6	6,15	0,61	4,69	18,4
	11.2.83.										
	2.	2,69	26,36	68,97	255,42	334,39	21,2	5,98	0,45	4,40	19,2
7	30.1.80.										
	1.	1,93	24,00	49,48	232,56	282,04	17,5	3,34	0,57	7,18	15,0
„	1.2.80.										
	3.	1,93	25,70	49,48	249,51	298,51	17,3	3,05	0,63	8,42	12,7
„	3.2.80.										
	5.	1,63	19,70	41,79	190,89	232,68	17,9	2,91	0,56	6,77	20,6

Zusammenstellung.

Nr. d. Hundes	Po kg Cal.	Cal. korrig. pro 15 ° C	Nr. d. Hundes	Pro kg Cal.	Cal. korrig. pro 15 ° C
1	38,99	38,00	5	57,86	61,04
„	31,82	30,87	6	68,40	69,03
„	37,88	36,94	„	63,65	69,70
„	36,50	36,94	„	58,13	61,79
2	41,40	41,40	„	71,07	73,56
„	40,22	40,22	„	76,85	79,39
„	41,10	41,10	„	71,60	71,60
3	47,95	48,91	„	75,03	76,23
„	45,71	45,48	„	60,18	59,94
„	42,79	43,22	„	54,91	55,73
4	50,72	50,11	„	53,64	54,39
„	41,54	42,29	„	52,57	53,09
5	66,32	69,10	„	61,06	63,22
„	60,28	64,19	„	54,24	56,73
„	64,88	68,58	7	83,94	83,94
„	60,66	64,66	„	97,85	95,41
„	64,16	63,42	„	80,00	84,88

Die Einzelwerte stimmen nach Abgleichung der durch die Temperatur bedingten Differenzen ganz zufriedenstellend überein; nur bei Hund 6, bei dem die Versuche zu recht verschiedenen Zeiten vorgenommen wurden, treten nicht unbedeutende Verschiedenheiten auf, die aber Rubner duch die etwas größere Lebhaftigkeit des Hundes im Jahre 1882, wo ihm die Versuche noch unbekannt waren, erklärt.

Dadurch, daß Rubner nun aus den Einzelwerten die Mittelwerte herstellte, entsteht folgende Tabelle:

Nr. d. Hundes	Mittleres Körpergewicht	Cal. im Tag pro kg	Calorien bei 15° C.
1	31,20	38,18	35,68
2	24,60	40,91	40,91
3	19,80	47,95	45,87
4	18,20	46,14	46,20
5	9,61	61,19	65,16
6	6,50	68,06	66,07
7	3,19	90,90	88,07

Diese Aufstellung zeigt fehlerlos beim Hund ein mit fallendem Körpergewicht allmähliches Ansteigen der Intensität der Verbrennung. Die Unterschiede werden recht bedeutend, wenn der kleinste Wert der Wärmebildung zu 100 gesetzt wird. Rubner (Zeitschr. f. Biol. Bd. 19, S. 543) erhielt sonach dieses Bild:

31	kg	Gewicht,	Wärmebildung	= 100
24	„	„	„	= 114
20	„	„	„	= 128
18	„	„	„	= 129
10	„	„	„	= 182
6	„	„	„	= 184
2	„	„	„	= 246

Nachdem alle sonstigen Umstände wie Bewegung, Einfluß der Temperatur gleich gehalten waren, ist es klar, daß die vorhandenen Differenzen in anderer Richtung, in einer noch unbekannten Beziehung zur Körpergröße zu suchen waren.

Nun ist aber keine Bedingung bekannt, die so geeignet wäre in verschiedenem Grade auf kleine und auf große Tiere einzuwirken als der Einfluß der umgebenden Temperatur. Große wie kleine Tiere erleiden unter den nämlichen Verhältnissen der umgebenden Luft eine ganz verschiedene Abkühlung, da sie für gleiche Organmasse nicht gleiche, sondern völlig verschiedene Oberflächen haben, ein Umstand, auf den schon Bergmann hingewiesen hatte. Weiter ist die interessante Beziehung zwischen Oberfläche und Körpergewicht nicht berücksichtigt worden. Rubner (Zeitschr. f. Biol. Bd. 19, S. 389) bestimmte aus diesem Grunde bei einigen Tieren das Verhältnis der Oberfläche zum Körpergewicht nach den später besprochenen Methoden und fand dabei:

Tierart.	Gew. in kg	Oberfläche pro kg Tier in qcm
Frosch	0,04	3059
Kaninchen	2,80	946
Hund	4,60	652
„	29,30	405

Außerdem wählte Rubner Hunde verschiedener Größe aus, ließ sie hungern und bestimmte ihre Stoffzersetzung. Die Größe ihrer Oberfläche und ihr Gewicht waren gleichfalls bekannt. Es zeigte sich nun, daß bei den verschieden großen Hunden die Zersetzung nur in dem Maße sich ändert als ihre relativen Oberflächen sich ändern, was ohne weiteres aus folgender Tabelle zu ersehen ist:

Nr.	Gew. in kg	Oberfl. in qcm.	Pro kg Tier Oberfl. in qcm.	Pro kg in 24 Std. prod. Cal.	Pro 1000 qcm in 24 Std. prod. Cal.
1	31,20	10750	344	38,18	110,9

Mittel aus					
2, 3, 4	19,40	7922	411	44,37	115,3
5	9,61	5286	550	61,19	111,2
6	6,50	3724	573	68,06	118,8
7	3,19	2423	726	90,90	125,2

Man sieht aus diesen Feststellungen, daß pro 1000 qcm Oberfläche von großen wie kleinen Tieren annähernd dieselbe Wärmemenge produziert wird. Einem exakten Beweis der oben angeführten Tatsache, daß kleine Tiere relativ mehr verbrauchen als große, standen nun mannigfache Hindernisse gegenüber, können doch verschiedene Behaarung der Tiere ihr verschieden entwickelter Fettpolster, ihre Körperstellung bei ein und derselben Oberfläche die Wärmeabgabe recht verschieden gestalten.

Trotzdem es aus diesen Gründen sehr schwierig und fast aussichtslos schien zu erforschen, in welchem Maße die Größe des Stoffwechsels von der Oberflächenentwicklung abhänge, machte sich Rubner doch daran. Um aber die Oberflächen der untersuchten Tiere auszumessen, konnte der Forscher natürlich nicht jedes Tier töten und die Größe seines Felles besitmmen. Er maß daher am lebenden, stehenden Tier mit einem Faden die einzelnen Dimensionen. Zur Sicherheit überzeugte sich Rubner davon, daß diese Methode der Messung am lebenden Tier nur unbeträchtliche Differenzen gegenüber der am toten aufwies, indem er zwei verschiedene Tiere zuerst lebend maß, dann tötete und die Fläche des abgezogenen Felles maß. Dabei erhielt er folgende Werte (Zeitschr. für Biol. Bd. 19. S. 547.):

a. Großer Hund:	Oberfläche des Felles	gem.	11914	qcm
„ „ :	„ „ „	ber.	11890	„
b. Kleiner Hund:	„ „ „	gem.	2821	„
„ „ :	„ „ „	ber.	3025	„

Die Messung des toten Tieres geschieht nach Rubner so, daß dessen Fell frisch abgezogen, mit der unbehaarten Fläche auf ausgelegtes Papier gebreitet und leicht gedehnt wird. Der ganze Umfang wird nun mit Bleistift angezeichnet, die Fläche des Ohres doppelt aufgetragen und schließlich die unregelmäßig abgegrenzte Fläche in meßbare Dreiecke eingeteilt.

Bei kleinen Tieren, wie beispielsweise Kaninchen bevorzugte Rubner die Messung am toten Tier. Anstatt jedoch

die Fläche nach Dreiecken auszumessen, beklebte er sie mit Seidenpapierblättern von 100 qcm Flächengröße; noch kleinere Tiere wie Ratten, Frösche etc. maß er mit dem Planimeter.

Schwierigkeiten mit dem Abziehen der Haut ergeben sich bei Hühnern; auch hier wußte der Gelehrte Rat, indem er die getöteten Tieren nach Stutzen der Schwanzfedern mit Paraffin überzog, wodurch sich die Federn fest an den Leib legen und hierauf mit Papier die einzelnen Werte ausmaß.

Messungen in größerer Ausdehnung hat Meeh (Zeitschrift f. Biol. Bd. 15. S. 425) am Tübinger Institut vorgenommen. Nach ihm besteht zwischen Volumen und Oberfläche beliebiger, ähnlicher Körper und somit auch bei Tieren derselben Art eine konstante Beziehung, die sich, wenn O = Oberfläche und V = Volumen, folgendermaßen ausdrücken läßt:

$$K = \frac{\sqrt{O}}{V^{2/3}} = \frac{O\sqrt[3]{V}}{V}$$

Dieser so erhaltene Wert stellt eine Konstante dar für eine bestimmte Körperform. Setzt man nun bei aus gleichem Stoff bestehenden Körpern für V das Gewicht G, so erhält man:

$$O \frac{\sqrt[3]{G}}{G}$$

Meeh hat diese Konstante nun für den Menschen zu 12,3 berechnet. Ebenso errechnete sie Rubner (Zeitschr. f. Biol. Bd. 19. S. 548) an seinen Versuchstieren und stellte die Werte folgendermaßen zusammen:

Nr.	Gewicht	Oberfläche	$O \frac{\sqrt[3]{G}}{G}$
	in kg	in qcm	
1	3,20	2506	11,54
2	4,20	2662	10,18
3	4,62	3025	10,90
4	6,50	3724	10,69
5	9,60	6140	11,61
6	20,00	7500	10,25
7	24,00	8805	11,83
8	29,80	11890	12,51

Darnach ergibt sich als Mittelwert der Konstante für den Hund 11,16. Die Schwankungen der Einzelwerte dürften nach Ansicht Rubners wohl eine Folge der verschiedenen Rassen der zur Untersuchung gekommenen Tiere sein. Von großer Wichtigkeit ist der Mittelwert, im folgenden mit K bezeichnet, deshalb, weil aus ihm die Oberfläche eines Tieres aus dem Gewicht leicht zu berechnen ist, indem $O = K \sqrt[3/2]{A}$, wobei A = Körpergewicht in g, O = Oberfläche in qcm.

Beobachtet man nun endlich den Kraftwechsel hungernder Tiere verschiedener Größe und ihre relative Oberflächenentwicklung, so läßt sich folgendes erkennen:

Nr.	Gew. i. kg.	Oberfl. i. qcm	Pro kg Oberfl. i. qcm	Pro kg u. 24 Std. Cal.(bei 15°C)	Pro 1 qcm Oberfl. Cal.
1	31,20	10750	344	35,68	1036
2	24,00	8805	366	40,91	1112
3	19,80	7500	379	45,87	1202
4	18,20	7662	421	46,20	1097
5	9,61	5286	550	65,16	1183
6	6,50	3724	573	66,07	1153
7	3,19	2423	726	88,07	1212

Mit Abnahme des absoluten Gewichtes der Tiere nimmt auch die Oberfläche ab, jedoch nicht in gleichem Maße, sondern weniger rasch als dasselbe, was eindeutig beweist, daß kleine Tiere eine relativ beträchtlich größere Oberfläche besitzen. Die Randwerte verhalten sich wie 344 : 726 oder umgerechnet wie 100 : 211. Aus 5 ist ein Ansteigen der Zersetzung bei kleinen Tieren zu sehen, während 4 und 5 zusammengenommen beweisen, daß tatsächlich die Zersetzung ebenso zunimmt wie die Oberflächenentwicklung, mit anderen Worten: „Für je eine bestimmte Anzahl von Quadratcentimetern Oberfläche beim Hund wird auch die gleiche Anzahl von Wärmeeinheiten abgegeben, der Gesamtstoffwechsel hungernder Tiere ist also direkt proportional ihrer Oberflächenentwicklung" (Zeitschr. f. Biol. Bd. 19. S, 550). Sonach bestimmt also der Wärmeverlust auch die Größe des geringsten Stoffverbrauches. Der Grund, warum kleine und große Hunde verschiedene Mengen von Nahrungsstoffen zersetzen, ist nicht der, daß ihre Zellen gewisse Verschiedenheiten bezüglich ihrer Organisation aufweisen, sondern der, daß die

von der Haut ausgehenden, durch die Abkühlung bedingten Impulse die Zellen zur Tätigkeit anregen; für dieselben Oberflächen kommen isodyname Stoffmengen zum Verbrauch.

Infolge der Wichtigkeit der Sache sah sich Rubner auch nach anderen Angaben in der Literatur um und fand solche von Senator (Untersuchung über den fieberhaften Prozeß und seine Behandlung) wie von Regnault und Reiset (Regnault und Reiset, Ann. de chem. et phys. t. 26 p. 299 ff). Während sich die von Senator aufgestellten Werte mit den von Rubner gefundenen vergleichen ließen, mußte für den Sauerstoffverbrauch, den letztere fanden, erst die Umrechnung in den kalorischen Wert erfolgen. Nach Berechnung der Oberflächen der von Senator und Regnault und Reiset beobachteten Hunde mit Hilfe der Konstante K erhielt Rubner (Zeitschr. f. Biol. Bd. 19. S. 551) folgende Zahlen:

Nr.	Gew. i. kg	Oberfl. berechnet in qcm	Pro kg Tier Oberfl. in qcm	Pro kg Tier Cal.	Pro qm Cal.	Beobachter
8	10,80	5453	505	52,31	1035	Senator
9	7,52	4285	569	53,76	944 ?	„
10	6,09	3722	611	63,04	1031	„
11	5,68	3534	621	68,40	1101	„
12	5,40	3462	641	74,16	1157	„
13	4,24	2924	689	69,12	1003	„
14	5,59	3508	627	72,82	1154	Regnault u. Reiset.

Obschon also Stoff- und Energiewechsel der Hunde mit verschiedenen Methoden gemessen worden waren, zeigt sich bis auf einen Wert von Senator eine recht überraschende Uebereinstimmung. Rubner vermutet, daß es sich in diesem Fall um ein bereits erkranktes Tier gehandelt habe. Im Uebrigen aber fand Rubner in diesen Versuchen die Bestätigung des Satzes:

„Der Kraftwechsel großer und kleiner Tiere im ruhenden Zustand und bei Hunger verhält sich direkt wie ihre Oberflächenentwicklung“ (Zeitschr. f. Biol. Bd. 19, S. 551),

Im Mittel aller Berechnungen Rubners liefert ein Hund für 1 qm Oberfläche (bei 15° C) 1143 Cal., nach denen Senators 1065, nach Regnault und Reiset 1177. Nach Aussage Rubners weicht sein Mittelwert von 1143 Cal. von dem in seinen Versuchen gefundenen Minimum um 9,4 %, vom

Maximum um 6,0 %, ab, eine Differenz, die im Hinblick auf die Schwierigkeit der Erlangung gleichartigen Versuchsmaterials höchst geringfügig ist.

Da mittels der Konstante K die Oberfläche für beliebige, mäßig fette und kurzhaarige Hunde berechnet werden kann und außerdem bekannt ist, wieviel Wärme für eine bestimmte Oberfläche in 24 Std. bei 15° C produziert wird, so besteht auch die Möglichkeit die Wärmeproduktion für einen beliebigen Hund, der sich unter den in Rubners Versuchen eingehaltenen Bedingungen befindet, zu errechnen durch die Formel

$$W = K \cdot \sqrt[3]{A^2} \cdot N,$$

wenn K = Konstante, A = Körpergewicht, N— Wärmeproduktion für 1 qcm.

Die Hunde passen sich in ihrem Energieverbrauch unter den gegebenen Verhältnissen der auf sie einwirkenden Abkühlung an. Dabei stellt sich ihr Körper auf den kleinstmöglichen Energieverbrauch ein, weshalb hier das nämliche Prinzip des ökonomischen Kraftverbrauchs auftritt, das auch bei der Isodynamie der Nahrungsstoffe nachgewiesen werden konnte. Selbstverständlich gilt dieses Gesetz nicht nur für den Hund, sondern für alle Warmblüter. Betrachtet man nun die Wirkungen nicht nur bei der einen Tierart, sondern bei verschiedenen, so tritt erst die übergroße Bedeutung der Oberflächenentwicklung für den Kraftverbrauch vollends zu Tage.

Rubner (Zeitschr. f. Biol. Bd. 19 S. 553) bestimmte bei verschiedenen Tieren die Oberfläche und trug die erhaltenen Werte in folgende Tabelle ein, wobei die beobachteten Konstanten folgende sind:
Mensch 12,3; Hund 11,2; Kaninchen 12,88; Huhn 10,45; Ratte 9,13; Frosch 4,62.

Tier	Gew. in g	Oberfläche in qcm	Pro kg Tier Oberfläche in qcm
Frösche	40	116	3059
Ratten	208	342	1650
Huhn	1829	1855	1014
Kaninchen	2812	2662	946
Kl. Hund	3190	2423	726
Gr. „	31200	10750	344
Mensch	78250	22435	287

Bei Durchsicht der Tabelle sind ganz außerordentliche Unterschiede zu sehen. Die relativen Oberflächen von Mensch

und Ratte zeigen ein Verhältnis von 287 : 1540 oder umgerechnet von 100 : 536. Daraus folgt, daß sich bei Außerachtlassung geringer Differenzen, wie sie etwa durch die Verschiedenheit des Felles etc. bedingt sind, auch der Gesamtstoffwechsel des Menschen zu dem der Ratte wie 100 : 536 verhält, daß also der Stoffwechsel der Ratte unter vergleichbaren Verhältnissen das $5\frac{1}{3}$fache des menschlichen ausmacht. Zu weiterem Vergleiche nahm Rubner die Oberfläche eines 22 g schweren Sperlings zu 3730 qcm pro kg an und fand, daß dieses kleine Tier relativ 13mal soviel Wärme als der Mensch produzieren muß. Diese wenigen Beispiele beweisen klar, welch bedeutende Veränderungen in der Organisation die Folge sein müssen. Der durch die erhöhte Wärmeabgebe bedingten größeren Nahrungszufuhr paßt sich der Darmtraktus an, das lebhafter kreisende Blut führt allen Teilen die Nahrungsstoffe und den Sauerstoff zu und dient zum Auswaschen der Zersetzungsprodukte.

„Wenn der tierische Organismus sich nun so entwickelt, wie wir gesehen haben, daß er im Hungerzustande und in Ruhe eben den abkühlenden Momenten in seinem Kraftwechsel sich anschließt, dann gibt es auch keinen spezifischen Stoffwechsel irgend eines Warmblüters, der durch bestimmte Struktur der Zelle selbst bedingt würde. Die bestehenden Unterschiede sind vielmehr nur durch bestimmte Verhältnisse der die Wärmeabgabe modifizierenden Bedingungen zu erklären“ (Zeitschr. f. Biol. Bd. 19. S. 554).

Von Interesse ist nun noch, ob tatsächlich die die Wärmeabgabe modifizierenden Bedingungen verschiedener Tiere wesentlich verschieden sind, sodaß sich daraus eine beträchtliche Verschiedenheit der Verbrennung ergäbe. Rubner macht hier Angaben über Huhn und Kaninchen. Ueber letzteres liegen auch Beobachtungen von Regnault und Reiset (Regnault und Reiset, Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. 73. S. 266) vor, die Rubner in folgender Tabelle verwertete:

	Beob. i. kg	Gew.	Ber. Ober- fl.	N ausg.	tägl. Fett zers.	Cal. aus Eiw.	Cal. aus Fett	Sa. d. Cal. pro kg	Obfl. pro i. qcm	t. b. d. Beob.	Pro qm Obfl. Cal.
Regnault u. Reiset	3,433	2931	—	—	—	—	59,90	853	19,0	691
„	3,577	3012	—	—	—	—	60,34	842	22,0	717

Rubner	2,698	2496	1,67	11,41	42,71	110,68	153,40	924	15,0	615
„	2,173	2160	0,62	14,84	15,90	143,95	159,85	949	15,5	740

Es ist daraus ohne weiteres ersichtlich, daß Rubners Kaninchen 2 die Angaben von Regnault und Reiset bestätigte, während Kaninchen 1 weniger Wärme produzierte, was Rubner darauf zurückführte, daß dieses Tier schwächlich war, indem es den Hunger nur 8 Tage ertrug. Zweckmäßig ist der also hier erhaltene Wert bei der Bildung des Mittels zu streichen. Das Mittel der drei anderen Versuche beträgt 766 Cal. pro qcm Oberfläche, demnach bedeutend weniger als beim Hund.

Am Huhn verglich Rubner seine Ergebnisse mit denen von Regnault und Kukein und fand dabei folgende Werte:

Beob.	Gew. i. kg	Oberfl. i. qcm	N tgl. ausg.	Fett. tgl. zers.	Cal. pro Tg.	Pro 10000 qcm Cal.
Rubner	3,595	2452	1,32	22,04	245,9	1002
Kukein	0,970	1023	0,21	8,58	90,8	887
Regnault	1,510	1375	20,34 O pro kg		71,7	787

Die Uebereinstimmung ist hier keine so vollkommene, wie dies bei Hund oder Kaninchen der Fall ist. Nach Meinung Rubners rührt dies von Unterschieden in der Befiederung her. Im Mittel produziert also das Huhn 892 Cal., mehr als das Kaninchen, weniger als der Hund.

Zur Untersuchung, ob in der Lebhaftigkeit der Oxydation bei den drei Tieren beträchtliche Differenzen bestehen, berechnete Rubner nun die Größe der Wärmeproduktion für einen Hund, ein Kaninchen und ein Huhn von 3 kg Körpergewicht, wobei er folgende Aufstellung erhielt:

Tiere von 3 kg Körpergewicht.	Oberfl. i. qcm	Cal. pro Tag	Cal. pro qm
Hund	2321	263	1136
Kaninchen	2679	192	717
Huhn	2174	195	892

Wie ersichtlich weist also das Kaninchen die größte Oberflächenentwicklung auf, das Huhn die kleinste, was bei diesen Tieren dadurch verursacht wird, daß für den Stoffwechsel nur die Außenflächen der Flügel, nicht aber die Innenflächen und ebenso wenig die von den Flügeln bedeckten Rumpfflächen in Frage kommen, ein Umstand, der dem Feh-

len zweier Extremitäten gleichzustellen ist. Die größte Wärmeproduktion zeigt der Hund, wogegen sich Kaninchen und Huhn fast gleich verhalten. Wenn man aber bedenkt, daß, wie Rubner bestimmte, der Darminhalt des Kaninchens häufig 10—13 % des Körpergewichts ausmacht, die eigentliche Zellenmasse eines 3 kg schweren Kaninchens also nur 2,6—2,7 kg beträgt, so wäre darnach die Wärmeproduktion von 3 kg Zellenmasse auf 235 Cal., also fast ebenso hoch wie die des Hundes zu schätzen.

„Es gibt also in der Tat recht wesentliche Verschiedenheiten in der Oxydation bei verschiedenen Tieren; sie stellen aber keine Wirkung einer spezifischen Tätigkeit der Zelle, sondern nur die Wirkung der durch die Verschiedenheit der Abkühlung verschieden angeregten Zellen dar" (Zeitschr. f. Biol. Bd. 19, S. 557).

Gewöhnlich wird dem jungen Tier ein spezifisch lebhafter Stoffwechsel zugeschrieben, der durch gewisse Beschaffenheit der jungen Zelle bedingt sein soll. Rubner dagegen behauptet, daß sich der hungernde Organismus den abkühlenden Momenten anpaßt, daß die Wachstumsveränderungen, die an den verschiedenen Tieren mit fortwährender Aenderung der relativen Oberfläche einhergehen, auch jene für Jugend und Alter charakteristischen Veränderungen des Gesamtstoffwechsels bedingen. Und weiter sagt Rubner, daß das in der Entwicklung begriffene Tier im Heranwachsen zwar eine sehr verschiedene Intensität des Gesamtstoffwechsels im Hungerzustande aufweise, daß aber immer die Intensität unter vergleichbaren Verhältnissen ein Ausdruck für die relative Oberflächenentwicklung sein werde. (Zeitschr. f. Biol. Bd. 19, S. 557).

Während also Rubner die Ansicht vertritt, daß die Größe der Körperoberfläche bezw. die Wärmeabgabe an der Oberfläche die Höhe des Grundumsatzes bestimme, unterliegt es nach v. Hoesslin keinem Zweifel, daß bei Warmblütern verschiedener Größe der Grundumsatz annähernd parallel mit der Größe K 2/3 geht, wobei unter K das Körpergewicht zu verstehen ist, und daß diese Parallele bedingt ist durch die Aehnlichkeit des inneren Baues des Tierkörpers aus gleichartigen letzten Einheiten (Zeitschr. f. Biol. Bd. 86, S. 569).

Darauf, daß unter normalen Verhältnissen das Maß der Tätigkeit der inneren Organe in größerem Maße und unmittel-

barer von dem Maße der Tätigkeit eines dieser Organe und da — bei gleichartiger Beschaffenheit der Muskelsubstanz — durch das Newton'sche Gesetz von der Aehnlichkeit der Bewegungen das Maß der Arbeitsleistung der Muskulatur, die Arbeitsfähigkeit in der Zeiteinheit, bestimmt wird, gründet v. Hoesslin seine Behauptung, daß das Newton'sche Gesetz auch als der Grund für das Parallelgehen von Grundumsatz und der Größe K 2/3 bezeichnet werden kann.

Weiter aber sucht er Rubners Lehre von der Abhängigkeit des Stoffumsatzes von der Größe der Körperoberfläche des Tieres dadurch zu widerlegen, daß er auf die äußere Bedeckung der Warmblüter zu sprechen kommt, indem er folgendes darlegt:

Bei gegebenen Unterschieden zwischen Außen- und Innentemperatur hängt die Größe der durch die Einheit Oberfläche eines Körpers in der Zeiteinheit tretende Wärmemenge vollkommen von der Umhüllung mit schlecht wärmeleitenden Bedeckungen ab. Daher ist es klar, daß ausschließlich bei einer in Bezug auf die Wärmedurchlässigkeit vollkommen gleichen Oberfläche die Wärmeabgabe verschiedener Warmblütler proportional der Oberfläche gehen kann (Zeitschr. f. Biol. Bd. 86, S. 579). Die Haut des Warmblüters ist eben zu jeder Jahreszeit seiner Lebensweise und seinen äußeren Lebensbedingungen, also seinem Umsatz sowohl bei Ruhe als bei Arbeit angepaßt. Die Maus vermöchte beispielsweise in unseren Gegenden nicht zu leben, wenn sie nicht in größerer Anzahl in Höhlen wohnte, wo sich die Tiere bei kühler Temperatur durch enges Aneinanderschmiegen gegenseitig Wärme spenden; sobald die Tiere ihre Behausung verlassen und arbeiten, genügt ihnen infolge der durch die Arbeit erhöhten Wärmeproduktion der Schutz der äußeren Bedeckung.

Mit zunehmender Größe des Tieres nimmt auch die Dicke der Lederhaut zu, da größere Tiere sonst schwereren Verletzungen ausgesetzt wären. Da aber eine dickere Hautdecke die Wärmeabgabe des darunter liegenden Körpers nicht unwesentlich erschwert, genügt bei großen Tieren unserer und der warmen Zonen bei Arbeit und warmer Außentemperatur die Wärmeabgabe durch Strahlung und Leitung nicht mehr; zum Ausgleich weisen diese Tiere die Fähigkeit der Schweißbildung auf, wogegen kleine Tiere während der Ruhezeit bei niedriger Außentemperatur einen Schutz gegen erhöhte Wärmeabgabe brauchen, wie ihn Höhlen, Nester oder auch dichtes Aneinanderlagern bieten.

Je kleiner ein Tier ist, in um so größeren Maße ist auch sein Ruheumsatz von der Außentemperatur abhängig und selbstverständlich im Hungerzustande mehr als bei normaler Ernährung (Zeitschr. f. Biol. Bd. 86. S. 581), Bei ruhenden Tieren ist die wärmeabgebende Oberfläche infolge der kauernden Stellung entschieden kleiner als in der Bewegung. Die Bauchhaut auf schlechtwärmeleitendem Boden liegender Tiere gibt nur wenig Wärme ab, ebenso die Innenseite der Flügel des Huhnes und die von denselben bedeckten Teile des Rumpfes. Bei kühler Außentemperatur sinkt die Eigentemperatur der langen, dünnen Ohren des Kaninchen stärker als die Temperatur der übrigen Oberfläche, von der also mehr Wärme verloren geht, eine Tatsache, die übrigens auch von den muskelarmen Teilen der Beine der meisten Warmblüter gilt. Daß die über Knochen liegende Haut kühler als die über Fleischteilen liegende ist, ist weiter ein Umstand, der beweist, daß die Wärmeabgabe selbst beim gleichen Tier an den verschiedenen Teilen der Oberfläche ganz verschieden groß sein kann.

V. Hoesslin billigt also der Körperoberfläche nicht die entscheidende Rolle in Bezug auf den Gesamtstoffwechsel zu, die ihr Rubner zugedacht hatte, sondern hält den Bau des Körpers als Einheit für das Entscheidende. Nach seiner Ansicht ist die Aehnlichkeit im Bau der Tierkörper aus gleichen Bausteinen wie Gleichheit der Muskelsubstanz und der Substanz aller anderen Zellen verschieden großer Tiere die Ursache dafür, daß Funktion der einzelnen Organe und Umsatz des gesamten Tierkörpers unter vergleichbaren Umständen proportional der Größe $K^{2}/_{3}$ gehen, was bei steigender Aehnlichkeit im Bau auch in steigendem Maße der Fall ist.

Daß nicht der Wärmeverlust an der Oberfläche, sondern allein die relative Aehnlichkeit des inneren Baues die Ursache für diese Beziehung des Grundumsatzes zu der Größe K 2/3 sein kann, geht vor allem daraus hervor, daß sich bei den wechselwarmen Wirbeltieren, bei denen die Erhaltung einer bestimmten Körpertemperatur absolut nicht in Frage kommt, der Ruheumsatz innerhalb der einzelnen Klassen und Arten ebenso verhält wie bei den Warmbütern (Zeitschr. f. Biol. Bd. 86 S. 583). Wie v. Hoesslin nachweist, zeigen Untersuchungen verschiedener Autoren, besonders klar die

Rubners über den Umsatz verschieden großer Kaltblüter übereinstimmend das annähernde Parallelgehen von Ruheumsatz und der Größe K 2/3. Die Ansicht Rubners, daß bei Kaltblütern das Verhältnis von Oberfläche zu K 2/3 weit größeren Schwankungen unterliege als bei den Warmblütern, beruht nach den Feststellungen v. Hoesslins auf einem Rechenfehler. Nach v. Hoesslin kann der Umsatz der Kaltblüter bei Aenderung des Ernährungszustandes bei mittlerer Außentemperatur für die Einheit K und K 2/3 in noch weit höherem Grade schwanken als bei den Warmblütern, da ja das Leben der Kaltblüter nicht an die Erhaltung einer bestimmten Körpertemperatur gebunden ist.

In einer Abhandlung (Biochem. Zeitschr. Bd. 148, S. 222 und 268) von Rubner spricht sich dieser gegen die Annahme aus, daß bei den Kaltblütern die Größe der Oberfläche bestimmend sei für die Höhe des Umsatzes und gibt hier das Parallelgehen von Umsatz und der Größe K 2/3 sowie die in inneren Eigenschaften der wachsenden Zelle bezw. im inneren Bau des wachsenden Körpers liegende Ursache zu, eine Annahme, die nun vom Standpunkte v. Hoesslins nicht nur für den Kaltblüter, sondern unbedingt auch für den Warmblüter, der sich ja aus ersterem entwickelt hat, Gültigkeit haben muß, sodaß v. Hoesslin also zu dem Schluß kommt:

„Bei Kalt- und Warmblütern zeigt sich ein Parallelgehen des Umsatzes und der Größe K 2/3, das seinen letzten Grund in Eigentümlichkeiten der Zellen bezw. des inneren Baues des Körpers hat“ (Zeitschr. f. Biol. Bd. 86 S. 585),

Mit der viel umstrittenen Frage nach der Ursache der Höhe des Stoffwechsels beschäftigte sich ausser Rubner und v. Hoesslin eingehender noch Bohnenkamp, der zu dem Ergebnis gekommen war, daß bei näherer Betrachtung die von den verschiedensten Autoren angeführten Einflüsse wie Alter, Geschlecht, Gewicht, Körperlänge etc. nur recht mittelbar die Höhe des Wärmehaushaltes zu verändern vermögen.

Bohnenkamp war der Ansicht, daß die Höhe des Energiewechsels zunächst abhängen müsse von der Energiezufuhr und -Abfuhr, die die Umgebung des im Ruhezustand befindlichen Menschen hervorruft. Wenn auch die positive Seite der Energiebilanz infolge zahlreicher Arbeiten genau bekannt war, so sah der Forscher doch darin noch eine zu lösende Aufgabe auch die Kenntnis der negativen Seite des Wärmehaushaltes,

also die Kenntnis der verschiedenen Wärmeverluste zu vervollkommnen. Nach Bohnenkamp (Pflügers Arch. Bd. 228. S. 41) setzen sich nun diese Wärmeverluste zusammen aus der Abgabe von Verdampfungswärme deren Menge aus genauen Wasserverlustbestimmungen durch Verfolgung des Körpergewichtes feststellbar ist, weiter aus der Abgabe von Wärme durch Berührung und Fortleitung seitens der Körperoberfläche mit kühlerer Luft, zu einem unbeträchtlichen Teil aus der Abgabe von Wärme zwecks Erwärmung der Atemluft und vor allem aus der Abgabe von Wärme durch Strahlung.

Bohnenkamps Aufgabe bestand also zunächst in der Messung der Strahlungsverluste des Menschen. Seinen Vorgängern, insbesondere Rubner (Arch. f. Hyg. Bd. 27. S. 69) und Bergmann (Bergmann, Wärmeökonomie d. Tiere) war es nun seiner Ansicht nach ebenso wenig wie vielen anderen Autoren gelungen die massgebende, für die Energieverluste wirksame Oberfläche richtig zu erkennen und zutreffend zu messen. Da er aber die Anschauungen Rubners, dass diese einen entscheidenden Einfluß auf den Stoffwechsel übe, durchaus billigte, ihm aber die Oberflächenregel Rubners für eine genaue Berechnung derselben nicht genügend erschien, machte er sich daran die für die Strahlungsverluste massgebende Fläche über jeden Zweifel erhaben und genau festzulegen, was seiner Meinung nach durch die bisherigen Berechnungen, die in keinem Fall die Fülle der insgesamt oberflächenvergrößernd wirkendenden Faltungen, Leisten und Grübchen auf der Haut berücksichtigen, nicht geschehen war.

Der Weg, den Bohnenkamp nun einschlug, war der, dass er die Gesamtintensität, also die Energiemenge, die der Mensch in einer Sekunde nach allen Richtungen ausstrahlt, aus den einzelnen Lichtstärken des Menschen nach dem Vorbild der Beleuchtungstechnik bestimmte, die er wiederum aus der Lichtstärke der Oberflächeneinheit, aus der Flächenhelle, berechnet hatte. Aus den Angaben über die Flächenhelle gewann er die Beziehung für die gesuchte Gesamtintensität. Indem er nun noch den Zusammenhang zwischen Lichtstärke des Oberflächenelements, der Flächenhelle, und der des Menschen bestimmte, konnte er den ganzen Strahlungsverlust errechnen. Während nun seine Vorgänger nach seiner Ansicht den Fehler gemacht hatten aus der Lichtstärke des Flächenelementes die Gesamtintensität dieses Flächenstückes zu berechnen und dann diesen Wert mit einer nicht willkürfrei verbesserten Körperoberfläche zu multiplizieren, ging Bohnen-

kamp vom Lambert'schen Gesetz aus und fand schließlich, dass die in Frage kommende Flächengröße die Projektionsfläche des Menschen nach verschiedenen Richtungen sei. Dadurch, daß das Lambert'sche Gesetz beschränkt auf Körper von den Eigenschaften eines schwarzen Strahlers, d. h. eines Körpers, der praktisch alles Licht absorbiert, auf den Menschen, von dessen in Betracht kommenden infraroten Strahlen nach Rubner und später nach Cobet und Bramigk (Dtsch. Arch. klin. Med. Bd. 144. S, 45) soviel imittiert und absorbiert wird wie beim schwarzen Strahler, angewendet werden durfte, stellte Bohnenkamp fest, daß die für die Strahlungsabgabe gültige Fläche keine unmittelbar anschauliche und zugleich zahlenmäßig erkennbare Oberfläche sei. Auf die wirksame Fläche konnte der Gelehrte nur dadurch schliessen, dass die Projektionsfläche des Menschen, nach einer bestimmten Richtung multipliziert mit der jeweiligen Intensität der Strahlung, über die Einheitskugel integriert wurde. Mit Hilfe photographisch gewonnener Projektionen, wurde an drei ausgewählten Versuchspersonen gezeigt, dass die so gewonnenen Flächenwerte mit der Theorie übereinstimmen.

Da nun aber dieses Verfahren sehr viele und in ungewöhnlichen Lagen der Versuchspersonen aufgenommene Bilder erforderte und über Doppelintegrationen nicht hinweggekommen war, sah sich Bohnenkamp gezwungen nach einem weniger mühevollen Weg zur richtigen Bestimmung der wirksamen Fläche zu suchen. Eine Möglichkeit lag nun in der Anwendung des Stefan-Boltzmannschen Gesetzes, aus dem die wirksame Fläche berechnet werden konnte. Da jedoch bei diesem Verfahren die Mißlichkeit bestand, dass für eine genaue Bestimmung nicht ohne weiteres eine mittlere Hautoberflächentemperatur eingesetzt werden darf und daher für jeden gleichartig temperierten Hautabschnitt gesondert auf Grund der Strahlungsverluste die wirksamen, infrarotes Licht ausstrahlenden Abschnitte zu berechnen und dann zu vereinigen waren, erschien dies kaum als wesentliche Erleichterung. Es handelte sich für Bohnenkamp doch darum, ein möglichst einfaches Verfahren zur Bestimmung der strahlenden Oberfläche zu finden.

Aus der Erwägung heraus, daß sich für ein derartiges Verfahren nur solche physikalische Größen eignen, die eine Funktion der strahlenden Oberfläche des betrachteten Körpers sind wie z. B. die elektrische Kapizität eines Leiters, kam er

auf den Gedanken, diese zu erfassen um dann aus ihr auf die für die Strahlung gültigen Oberflächen schliessen zu können.

Zur Auffindung eines funktionalen Zusammenhanges zwischen der strahlenden Oberfläche und der elektrischen Kapazität eines Leiters stellte Bohnenkamp nun folgende Berechnung an (Pflügers Arch. Bd. 228, S. 83):

Die wirksame Oberfläche O w einer als schwarzer Strahler gedachten Kugel vom Halbmesser R ist:

$$Ow = Ogeom = 4\ \pi\ R^2$$

Die Leiterkugel sei durch eine elektrische Ladung Q auf ein gewisses Potential

$$V = \frac{Q}{R}$$

gebracht. Bei Verdoppelung des Halbmessers R muß nach der letzten Beziehung auch die Ladung Q verdoppelt werden, damit das Potential V gleich bleibt. Mit der Verdoppelung von R vervierfacht sich aber die Oberfläche, die hier zugleich strahlende Oberfläche ist. Infolgedessen ist diese wirksame Oberfläche proportional dem Quadrat Q:

$$O\ w \sim Q^2$$

Zwischen der Kapazität C, der Ladung Q und dem Potential V besteht nun folgende Beziehung:

$$C = \frac{Q}{V}$$

Durch Einsetzen ergibt sich:

$$O\ w \sim V^2\ C^2$$

Andererseits ist bekannt, daß die Kapazität einer Kugel im elektrischen Maßsystem gegeben ist durch

$$O = R \quad [cm],$$

sodaß sich

$$O\ w \sim V^2\ R^2 \text{ oder } O\ w = K.\ V^2\ R^2$$

ergibt.

Nun ist O w = O = 4 π R² Damit ergibt sich für die Konstante K V 2 der Wert K V² = 4 π und als endgültige Formel die einfache Beziehung:

$$O\ w = 4\ \pi\ C^2 \text{ -}[cm^2].$$

Um nun zu beweisen, daß diese Formel unbedingte Gültigkeit besitzt, stellte Bohnenkamp für eine Kreisscheibe vom Halb-

messer R rechnerische Versuche (Pflügers Arch. Bd. 228. S. 85) an, wobei er folgendes feststellte: $O\,w = O = R^2\,\pi$. Für ihr Potential liefert die Theorie $V = 2\,\pi\sigma\,R$, wobei π = Flächendichte der elektrischen Ladung. Für die Kapazität gilt dann: $C = \frac{Q}{V} = \frac{R^2\,\pi\,\sigma}{2\,\pi\,\sigma\,R} = \frac{R}{2}$.

Damit wird $O\,w = 4\,\pi\,C^2 = 4\,\pi\,\frac{R^2}{4} = R^2\,\pi$ Da aber $R^2\pi$ tatsächlich die strahlende Oberfläche der Kreisscheibe ist, scheint die Richtigkeit der Formel $Ow = 4\,\pi\,C^2$ erwiesen.

Einen weiteren experimentellen Beweis für die Richtigkeit dieser Beziehung legt Bohnenkamp in folgendem Versuch dar: Das eine Ende eines zylindrischen Gefäßes von 59 cm Länge und 35 cm Durchmesser ist durch einen einspringenden Kegel (größter Durchmesser 32,4 cm, Kegelhöhe 52,8 cm) abgeschlossen. Die geometrische Oberfläche berechnet sich nun so:

O = Grundfläche + Mantel + Kegelstumpf + Halbkugel d. h.
$O = 17{,}5^{\,2}\pi + 2 \cdot 17{,}5\,\pi \cdot 59 = (16{,}5 - 4{,}5)\,\pi \cdot 52{,}8 + 2 \cdot 4{,}5^{\,2}\,\pi + 127 \cdot O = 11137\ [cm^2]$.

Nach den Strahlungsgesetzen (Lambert'sches und Stefan-Boltzmann'sches Gesetz) ist die für die Strahlung maßgebende Oberfläche des zylindrischen Gefäßes:

$$O\,w = 2 \cdot 17{,}5^2\,\pi + 2 - 17{,}5\ p.\,59.$$
$$O\,w = 8420\ [cm^2].$$

Bohnenkamp hängte diesen Zylinder nun in die Mitte eines Raumes an Seidenfäden auf und maß nach Isolation mit einem Hartgummistück elektrometrisch mit seiner Anordnung die Kapazität. Sie ergab sich zu 8460 cm^2, womit Bohnenkamp bewies, daß der Wert der Ladungsfläche praktisch der gleiche ist wie der für die Strahlungsfläche. Daß die aus den Kapazitätsmessungen mit Hilfe der Formel $O\,w = 4\,\pi\,C^2$ gefundenen Werte für die strahlende Oberfläche des Menschen mit den mit Hilfe des Stefan-Boltzmann'schen Gesezes gewonnenen übereinstimmen, hält Bohnenkamp für den Beweis, daß sein Verfahren der Bestimmung der elektrischen Kapazität für die genaue Festlegung der strahlenden Oberfläche richtig und praktisch sicher ausreichend sei.

Die Richtigkeit seiner Behauptungen sucht der Forscher schließlich noch damit zu beweisen, daß er zunächst die Kapa-

zität eines unbekleideten Menschen in der Grundstellung, nämlich mit herunterhängenden Armen maß. Da nun nach Seitwärtsstrecken der Arme die Kapazität größer wurde und weiter nach seiner Theorie auch die für die Strahlung maßgebende Oberfläche sich vergrößern mußte und auch tätsächlich vergrößerte, stand es für Bohnenkamp fest, daß die aus der Kapazität errechnete Oberfläche gleich ist der für die Strahlung maßgebenden Oberfläche.

Bohnenkamp stellte nun am unbekleideten, in der Grundstellung befindlichen Menschen Versuche an, nachdem er von jeder Person vorher Gewicht, Größe und Alter bestimmt und aufgezeichnet hatte. Die Versuche erstreckten sich auf über 100 Frauen und Männer verschiedener Größe und verschiedenen Gewichtes. Darin, daß Bohnenkamp deren Oberfläche in der Grundstellung maß, liegt natürlich eine Willkür, da jede Veränderung in der Körperhaltung sogleich die Strahlung aussendenden Flächen beträchtlich verändert. Darnach ist also offenkundig, daß für Grundumsatzbestimmungen an unbekleideten Personen auch die Verhältnisse der Lage der Zusammenordnung der Körperteile von Einfluß sind.

Zur besseren Anschauung der von Bohnenkamp gefundenen Werte sind in der folgenden Tabelle aus den ausgedehnten Meßreihen für eine ausgewählte Anzahl von Männern und Frauen, nach steigenden Gewichten geordnet, die Werte der wirksamen Oberfläche angegeben. Vergleichend stellte ihnen Bohnenkamp die Flächenwerte, wie sie sich aus der Du Bois'schen Formel (height weight formula) errechnen, gegenüber. Der Forscher wählte gerade diese Werte, da sie ja tausendfach angewandt wurden und sich brauchbar erwiesen hatten (W. M. Boothby and Irene Sandiford, Normal Values of Basal or Standard Metabolisme Modifikation of Du Bois Standards. Sonderdr. aus Amer. I. Physiol. 11, Nr. 2) Für die Vergleichung der Werte ist zu beachten, daß natürlich bei Veränderung der Haltung, etwa durch stärkeres Abspreizen der Arme, leicht die gleichen Werte wie sie Du Bois empirisch geprüft hatte, erreicht werden können.

Männer

Name	Alter	Grösse	Gewicht	Wirks. Oberfl. in qcm	Oberfl. nach Du Bois i. qcm
R. B.	4	101	16,65	4150	—
A. B.	5	113	18,76	5600	—
S. B.	7	122,5	22,27	8060	8900
R.	16	147,5	41	8500	13000
Oh.	15	159,2	48	9820	14700

Männer

Name	Alter	Grösse	Gewicht	Wirks. Oberfl. in qcm	Oberfl. nach Du Bois i. qcm
B.	52	170	58,5	16550	16700
W.	26	174,5	60	15890	17300
St.	36	166,6	60,5	15800	17800
M.	23	171	60,6	14850	17100
H.	38	162	62,2	14700	15900
L.	42	167,6	62,3	13750	17000
J.	52	166	62,4	14050	16900
Sch.	29	163,5	62,5	14080	16700
E.	21	163	62,4	12850	16700
R.	19	170,5	64,3	15900	17200
W.	25	168	65	13620	17400
St.	24	173	66	14050	17700
R.	31	170	68	13200	17500
St.	41	176	70	14900	18600
R.	46	165	70,5	12650	17800
H.	42	165,5	72,6	17800	17900
Sch.	33	162,2	74,8	17650	18000
I.	36	166,5	74,7	14400	18100
D.	24	182	87,8	17700	20800
W.	51	164	85,1	15500	18900
A.	36	166	90,58	19600	20200
P.	34	181	91,35	20100	21100
Sch.	56	170	95,3	18250	20700
D.	42	172,5	96,5	17200	21000
L.	24	189	105	23400	23000
Dr. K.	30	184	123	19300	—

Frauen

Name	Alter	Grösse	Gewicht	Wirks. Oberfl. in qcm	Oberfl. nach Du Bois i. qcm
B. B.	2	86	11,49	4060	—
G. B.	8	125,75	25,54	8430	9300
W. B.	10	138	31,94	9100	11000
Sch.	33	156	38,6	9730	13400
L.	16	153	40,2	9170	13100
M.	27	153	45,5	13300	14000
H.	41	158,6	46,2	13550	14300
Sch.	33	147	47,5	8850	13800
M.	36	153,4	47,6	13400	14400
L.	18	165	48,2	11400	15200
M.	19	157,5	50	12320	14800
S.	30	152,5	50	10200	14500
Sch.	29	152	51	12200	14700
G.	18	150	52	10100	14600
Schl.	23	155	52,5	10000	14800
Schu.	22	153,5	53,5	10600	15000
K.	32	149	56,1	9850	15000
O.	18	153,7	59,6	11150	15700
R.	49	157	60	13700	16000

Frauen

Name	Alter	Grösse	Gewicht	Wirks. Oberfl. in qcm	Oberfl. nach Du Bois i. qcm
H.	18	159	62,2	12610	16500
F.	20	168,8	62,6	15800	17200
Ma.	43	152,8	68,6	14700	16600
M.	38	159,5	68,7	12300	17200
R.	18	174	70,7	17650	18300
K.	40	155,8	71,7	16000	17000
R.	22	159	76,5	14850	17900
Sch.	26	153	89,4	14650	18800
B.	61	158	89,8	18000	19000
B.	46	171,5	99,1	20200	21200

Wie aus dieser Tabelle zu ersehen ist, gehen die Angaben Bohnenkamps über die wirksame Oberfläche mit denen von Du Bois ziemlich auseinander. Allerdings ist dabei zu berücksichtigen,daß die von Bohnenkamp angegebenen Werte nur die strahlende Fläche erfassen, während für den Energiewechsel selbstverständlich auch jene Körperfläche, die maßgebend ist für die Wärmeabgabe durch Leitung und Wärmemitführung, in Frage kommt. Bei Grundumsatzbedingungen beträgt aber die Energieabgabe durch diese letzteren Vorgänge kaum mehr als 3—5% der gesamten Energieabgabe. Für diesen Einfluß ist aber einzusetzen nicht die strahlenede, sondern nahezu die geometrische Oberfläche des Menschen, wie sie sich ja mit Annäherung aus den Bestimmungen von Du Bois errechnet. Diese letztere Oberfläche ista lso beteiligt an den Gesamtenergieabgaben und ist insofern bei der Berechnung von Oberflächenwerten für den gesamten Energiewechel heranzuziehen. Da die von Bohnenkamp gefundenen Oberflächenwerte meist tiefer liegen, läßt sich hierdurch offensichtlich eine weitere Annäherung der Strahlenwerte erreichen.

Bei den sehr hohen Gewichten und Körpergrößen ist die Deckung der Strahlenwerte eine viel größere, was nach Bohnenkamp dadurch zu erklären ist, daß durch die gleichmäßige Auswölbung der Körperbedeckung dieser übergewichtigen Personen eine größere Konvexität der Körperteile sich ergibt. Dadurch liegen aber Bedingungen vor, wie sie in der Theorie von Bohnenkamp klargelegt wurden, wonach dann die Messung der geometrischen Oberfläche ganz oder beim Menschen näherungsweise zusammenfällt mit der Erfassung der wirksamen d. h. der strahlenden Oberfläche. Beim unbekleideten Gesunden sind also nach Ansicht Bohnenkamps für die Praxis die Du Bois'schen Zahlenwerte eine gute Annäherung,

während sie in Wahrheit meist etwa zu hoch liegen dürften in Uebereinstimmung auch mit den an 60 000 Personen geprüften Angaben von Bootby und Sandiford (W. M. Boothby and Irene Sandiford, Normal Values of Basal or Standard Metabolisme Modifikation of Du Bois Standards. Sonderdr. aus Anmer. J. Physiol. 11 Nr. 2). Da aber die bisher gebräuchlichen Methoden und Angaben bei krankhaften Körperdimensionen versagen, dürfte sich nach Bohnenkamps Meinung in allen Fällen die Zweckmäßigkeit der Messung der wirksamen Oberfläche durch sein Verfahren herausstellen und für genaue Bestimmungen unentbehrlich erweisen.

Die praktische Umsatzbestimmung des Menschen vollzieht sich also nach Bohnenkamp so, daß die wirksame Oberfläche mit Hilfe der elektrischen Kapizität bestimmt wird. Zu dieser Größe ist nun aber noch die mittlere Strahlungstemperatur der Haut zu finden entweder in noch aufzustellenden Tabellen über das Verhältnis von Ueber- und Untergewicht zum Normalgewicht oder auf dem Wege über die Bestimmung des spezifischen Gewichts. Man kann dann aus einem Diagramm der Stefan-Boltzmannschen Gleichung den Strahlungsverlust ablesen und hat damit entsprechend der Energiegleichung den Gesamtumsatz.

Mit dieser Art der Berechnung der wirksamen Oberfläche mittels der elekrtischen Kapazität zeigt Bohnenkamp einen neuen und scheinbar einfachen Weg für die Bestimmung der Höhe des Gesamtumsatzes. Ob er sich bewährt, ist eine zweite Frage, die von der Wissenschaft erst noch zu lösen ist.

Zum Schlusse ist es mir eine angenehme Pflicht, Herrn Prof. Dr. A. Hahn für die Themenstellung, hauptsächlich aber für sein verständnisvolles Entgegenkommen und seine wertvollen Ratschläge meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Literaturverzeichnis.

1. *Bergmann,* Wärmeökonomie der Tiere.

2. *Bethe, Bergmann, Embden, Ellinger,* Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie. Bd. 5. Stoffwechsel und Energiewechsel.

3. *Bohnenkamp,* Untersuchungen zu den Grundlagen des Energie- und Stoffwechsels. Pflügers Arch. 228.

4. Ueber das Gesetz des Energiewechsels. Ergebnisse der Physiologie. Bd. 24.

5. *W. M. Boothby and I. Sandiford,* Normal Values of Basal or Standard Metabolisme Modifikation of Du Bois Standards. Sonderdr. aus Amer. I. Physiol. 11, Nr. 2.

6. *Chossat,* Mém. prés. par div. savants a' l' acad. royal des sciences, de l'institut de France.

7. *Cobet u. Bramigk,* Ueber Messung der Wärmestrahlung der menschlichen Haut und ihre klinische Bedeutung.

8. *B. S. Du Bois and E. F. Du Bois,* A Formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. Clin. Caforimetrie Chikago 1916.

9. *Du Bois,* Basal metabolism in health and disease. 2. Aufl. Philadelphia: Lea and Febiger 1927.

10. *V. Hoesslin,* Ueber die Umstände, die die Höhe des Grundumsatzes bestimmen. Zeitschr. f. Biol. Bd. 86.

11. *Hermanns* Handbuch Bd. 6.

12. *Regnault u. Reiset,* Ann. de chem. et phys.

13. Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. 73.

14. *Rubner, Gruber u. Ficker,* Handbuch der Hygiene. Bd. 1.

15. *Rubner,* Ueber den Einfluß der Körpergröße auf Stoff- und Kraftwechsel. Zeitschr. f. Biol. Bd. 19.

16. Die Vertretungswerte der hauptsächlichsten organischen Nahrungsstoffe im Tierkörper. Zeitschr. f. Biol. Bd. 19.

17. Aus dem Leben des Kaltblütlers. Biochem. Zeitschr. Bd. 148.

18. Zur Bilanz unserer Wärmeökonomie. Arch. f. Hyg. Bd. 27.

19. *Meeh,* Oberflächenmessungen des menschlichen Körpers. Zeitschr. f. Biol. Bd. 15.

20. *Carl Theodor,* Ueber den Einfluß der Temperatur der umgebenden Luft auf die Kohlensäureausscheidung und die Sauerstoffaufnahme bei einer Katze. Zeitschr. f. Biol. Bd. 14.

Lebenslauf.

Ich, Karl Fackler, wurde als Sohn des Hauptlehrers Joseph Fackler am 24. April 1909 zu Schiltberg B.-A. Aichach geboren. 1920 trat ich in das hum. Gymnasium ein und bestand 1929 am Wilhelmsgymnasium zu München die Reifeprüfung. Im November 1929 bezog ich die Universität München um dort Zahnheilkunde zu studieren. Im S. S. 1931 bestand ich die zahnärztliche Vorprüfung und am 3. Mai 1934 das zahnärztliche Staatsexamen. Die Approbation als Zahnarzt erhielt ich am 15. Mai 1934. Am 26. Juli 1934 bestand ich schließlich die mündliche Prüfung.